Lane Medical Library

ÜBER

INDUCTIONSSTRÖME

FEIN- UND GROBDRÄHTIGER SPULEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN MEDICINISCHEN FACULTÄT ZU BERN

VORGELEGT VON

C. WEIL,

ARZT AUS SACRAMENTO (AMERIKA).

MIT 3 ABBILDUNGEN.

Auf Antrag des Herrn Prof. SAHLI von der Facultät zum Druck genehmigt.

Bern, 4. Juni 1890. Der Decan: R. DEMME.

LEIPZIG,

DRUCK VON J. B. HIRSCHFELD.

1891.

In vorliegender Arbeit wird von Neuem eine Frage aus dem Gebiete der Inductionsströme behandelt, die früher einmal sehr im Vordergrund stand und zu heftigen Controversen Anlass gab. Jetzt ist sie halb vergessen und in den Lehrbüchern, in denen sie noch angeführt wird, existirt sie mehr aus historischem, als wissenschaftlichem Interesse.

Es handelt sich nämlich um die schon Ende der 40er Jahre von Duchenne de Boulogne gefundene Thatsache, dass unter Umständen bald der Strom der secundären, bald jener der primären Spule eines Inductionsapparates die stärkere Wirkung besitzt, so dass sich bestimmte Indicationen für ihre Anwendungen aufstellen lassen. Duchenne behauptete direct eine bessere Wirkung des Stromes der secundären Spule auf die Hautsensibilität, jenes der primären Spule auf die tieferliegenden Organe, insbesondere auf die Muskeln.

Eine Erklärung für diese Verhältnisse vermochte Duchenne nicht zu geben. Trotzdem er von einer „electiven" Wirkung der Spulen sprach, so war es ihm doch klar, dass die Differenzen auf rein physikalischen Gesetzen beruhten und dass nicht etwa die Ströme beider Spulen specifische, undefinirbare Eigenschaften besässen. Welcher Art diese Gesetze waren, darüber hegte er jedoch nicht einmal eine Vermuthung, wie dies aus seinen eigenen Worten hervorgeht. Er sagt hierüber [1]): „Da man bei dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse keine befriedigende physikalische Theorie finden kann für die Verschiedenheit in der physiologischen Wirkung der ersten und zweiten Spule, so muss man sich einstweilen mit den unanfecht-

1) De l'électrisation localisée. Paris 1870. S. 22 u. 23.

baren elektrophysiologischen Thatsachen begnügen, die allein eine solche (Theorie) aufstellen lassen."

Aber Duchenne gab nicht nur selbst keine Erklärung seiner Befunde, sondern bestritt auch die Richtigkeit jener, die der Physiker Becquerel abgegeben hatte. Becquerel betrachtete die Spannung der Ströme als maassgebend und erklärte damit allerdings die bessere Wirkung der secundären Spule auf die Hautsensibilität, liess es aber ganz unverständlich, warum die primäre Spule mehr die tieferen Organe beeinflusst. Gerade hierauf legte aber Duchenne besonderen Werth und so war es begreiflich, dass er Becquerel's Erklärung verwarf.

Auffallend ist es, dass die praktische Seite der Frage bisher so wenig Würdigung fand. Duchenne selbst illustrirte die Bedeutung derselben mit mehreren Fällen aus seiner Erfahrung, von denen hier einer Erwähnung finden möge.

Als Duchenne einmal einem Patienten die Blase faradisirte mittelst Elektroden, die in Blase und Rectum eingeführt waren, bemerkte er störende Zuckungen in den Beinen infolge Reizung des Plexus sacralis. Er vermuthete eine zu starke Ausbreitung des hochgespannten secundären Stroms und wollte diesem Uebelstande begegnen durch Benutzung des Stroms der mindergespannten primären Spule. Kaum aber hatte er den Strom gewechselt, als der Patient die unerträglichsten Schmerzen empfand, so dass die Behandlung sofort unterbrochen werden musste.

Eine ganz ähnliche Beobachtung machte Dr. Dubois in Bern, als er in einem Falle von habitueller Verstopfung die elektrische Behandlung einleiten wollte. Er applicirte eine grosse feuchte Elektrode auf das Abdomen, eine andere, olivenförmige, führte er in das mit Salzwasser gefüllte Rectum ein und verband beide mit der mässig gespannten (secundären) Spule (von 56 Ohm Widerstand) eines kleineren Schlittenapparates. Die sonst sehr empfindliche Patientin hatte fast keine Empfindung, selbst nicht bei dem Rollenstand Null. Dubois glaubte zuerst an einen Leitungsfehler, überzeugte sich aber, dass ein solcher nicht vorlag, durch die äusserst heftige Sensation, die er empfand, wenn er die Elektroden in die Hände nahm. Er kam daher auf den Gedanken, einmal den Strom der primären Rolle zu versuchen und wider Erwarten erhielt er nun eine sehr heftige Erregung, die ihn nöthigte, den Strom durch Einschiebung der geschlossenen secundären Spule bedeutend zu dämpfen.

Ganz die gleiche Erfahrung machte man, als man die Inductionsströme in Form der faradischen Bäder anwenden wollte. Auch hier

erzielte man mit der hochgespannten secundären Spule fast keine Wirkung, während die primäre Spule einen sehr wirksamen Strom lieferte, und so kam man darauf, besondere Badespulen aus grobem Draht zu construiren. Warum diese besser wirken, vermag man aber bis zur Stunde nicht anzugeben.

Aus diesen wenigen Daten ist ersichtlich, dass eine gründliche Bearbeitung der Frage keineswegs überflüssig ist. Unsere empirischen Kenntnisse der Duchenne'schen Befunde lassen uns nicht ihre volle Tragweite für die Therapie erkennen und es ist der Zweck dieser Arbeit, dies zu ermöglichen, indem wir den Befunden eine wissenschaftliche Grundlage geben.

Die Duchenne'schen Angaben und ihre Erklärungen.

Bisher wurden die Duchenne'schen Angaben nur andeutungsweise erwähnt und es bleibt uns noch übrig, dieselben genauer wiederzugeben, ehe wir auf ihre Besprechung eintreten. Duchenne selbst hat uns dies erleichtert, indem er seine Angaben in folgenden 5 Sätzen formulirt:

1. Der Strom der zweiten (secundären) Spule erregt in höherem Maasse die Retina, als jener der ersten Spule, wenn er mittelst feuchter Elektroden auf Gesicht oder Augapfel einwirkt.
2. Der Strom der zweiten Spule erregt die Hautsensibilität stärker, als jener der ersten.
3. Der Strom der ersten Spule wirkt heftiger auf die Sensibilität gewisser mehr oder weniger tief unter der Haut gelegener Organe, als der Strom der zweiten Spule.
4. Der Strom der zweiten Spule ruft stärkere reflectorische Contractionen hervor, als jener der ersten Spule.
5. Setzt man feuchte Elektroden auf die Hautoberfläche, so dringt der Strom der zweiten Spule tiefer in die Gewebe ein, als jener der ersten Spule.

Von diesen Angaben ist die wichtigste die dritte, welche von einer stärkeren Einwirkung der primären Spule auf die tiefer liegenden Organe handelt. An ihr, deren Richtigkeit von allen Autoren anerkannt wird, scheiterten alle bisherigen Erklärungen. Während in allen anderen Fällen die secundäre Spule im Vortheil ist, wie dies gemäss ihrer zahlreichen Windungen natürlich scheint, wird sie hier plötzlich von der primären Spule übertroffen. Das war unverständlich und ist es bis heute geblieben.

Wie Duchenne zu diesen Resultaten gekommen ist, darüber giebt er wenig Auskunft. Er operirte mit einem von ihm selbst construirten Apparate, dessen secundäre Spule im Vergleich zur primären eine grosse Windungszahl und einen bedeutenden Widerstand besass. Die diesbezüglichen Zahlen erwähnt er nicht. Ferner verwandte er bei den einzelnen Versuchen meist feuchte Elektroden; nur bei der Erregung der Hautsensibilität dürfen wir annehmen, dass er eine Ausnahme machte. In der betreffenden Angabe (Nr. 2) ist zwar nichts darüber bemerkt; doch finden wir an einer anderen Stelle seines Buches (Kap. II § III: Électrisation de la peau), dass er zur Reizung der Haut die Elektroden trocken zu gebrauchen pflegte. Ja er rieb die Haut sogar mit trockenen Pulvern ein, um sie ja recht leitungsunfähig zu machen. Er wollte dadurch verhüten, dass der Strom ungehindert die Haut passire und an anderen Stellen seine Wirkung entfalte. Auch über die Grösse der Elektroden giebt Duchenne keine Auskunft, doch vermuthen wir, dass dieselben von mittlerer Grösse waren.

Gestützt auf diese Angaben versuchten wir nun Duchenne's Befunde zu controliren und ihr wissenschaftliches Princip zu ergründen. Der Apparat, der uns dazu zu Gebote stand, war ein du Bois-Reymond'scher Schlittenapparat mit einer primären Spule von 1100 Windungen und 3,87 Ohm Widerstand und einer secundären Spule von 11050 Windungen und 1030 Ohm Widerstand. Als Stromquelle dienten 4 grosse Callaudelemente mit einer elektromotorischen Kraft von zusammen circa 4 Volt und einem inneren Widerstand von zusammen circa 6,0 Ohm. Somit war die Intensität des inducirenden Stromes circa $\frac{4 \text{ Volt}}{4 + 6 \text{ Ohm}} = 0{,}4$ Ampère.

Wir begannen mit dem Versuch an der Retina. Bei einem Rollenabstand von 120 Mm. ergab der Strom der secundären Spule eine deutliche Lichtempfindung ohne jede schmerzhafte Nebenempfindung. Der Strom der primären Spule war dagegen von Anfang an, selbst bei ganz übergeschobener geschlossener secundärer Spule, so schmerzhaft, dass wir darauf verzichteten, den Versuch ganz auszuführen.

Ein interessantes Ergebniss lieferte die Anstellung des 2. Duchenne'schen Versuches, die Erregung der Hautsensibilität betreffend. Wir benutzten hierbei zwei faradische Pinsel, von denen der eine in der Gegend des Ellenbogens leicht aufgesetzt wurde auf die trockene Haut, während der andere auf der Hand des gleichen Armes mässig rasch und ohne Druck hin- und hergeführt wurde.

Arbeitete man mit dem Strom der secundären Spule, so empfand man schon bei grossem Rollenabstand (circa 130 Mm.) ein starkes Stechen und sah vereinzelte Funkenbildung. Bei 110 Mm. Rollenabstand wurde das Stechen unerträglich. Nahm man dagegen den Strom der primären Rolle, so war die Wirkung eine sehr mässige und noch gut erträglich bei maximaler Stromstärke, d. h. bei gänzlicher Entfernung der secundären Rolle.

Nicht minder deutlich war die Differenz in der Wirkung beider Spulen bei der Wiederholung des 3. Duchenne'schen Versuches, wobei gut durchfeuchtete und ziemlich grosse (50—100 Qcm.) Elektroden in Anwendung kamen. Der Strom der secundären Spule lieferte diesmal (am Arm) beim Rollenabstand Null eine zwar kräftige, aber durchaus schmerzlose Contraction der Muskeln neben einem leichten Prickeln in der Haut unter den Elektroden. Der Strom der primären Spule dagegen erregte, selbst bei maximaler Dämpfung durch die geschlossene secundäre Spule, solch heftige und schmerzhafte Contractionen, dass es unmöglich war, ihn länger als einige Secunden zu ertragen.

Das Verhältniss der Wirkung beider Spulen war hier gerade umgekehrt, wie im vorigen Versuch. Ueberwog dort die secundäre Spule, so wurde sie hier von der primären übertroffen und dies in einer Weise, die an Deutlichkeit nichts zu wünschen übrig liess.

Die Prüfung der 4. und 5. Duchenne'schen Angaben unterliessen wir, da sie zu unklar formulirt sind und uns augenblicklich nicht weiter interessirten.

Die Versuche, in der eben beschriebenen Weise angestellt, boten verschiedene Mängel, obschon sie die Richtigkeit der Duchenne-schen Behauptungen vollauf bestätigten. Am störendsten war es, dass man ganz ausser Stande war, die Stromstärken beider Spulen mit einander vergleichen zu können. Für die secundäre Spule hatte man zwar ein Maass in dem Rollenabstand, das vollkommen genügte, um uns einen Begriff von der Stärke ihres Stromes zu geben. Der Rollenabstand war aber nicht in gleicher Weise verwerthbar für die primäre Spule, da ihm für die Stärke von deren Strom eine ganz andere Bedeutung zukommt. Ein weiterer Missstand der beschriebenen Versuchsanordnung war der, dass der Strom der primären Rolle, selbst wenn maximal gedämpft durch die geschlossene secundäre Rolle, so stark war, dass man nur mit Einschaltung grösserer Widerstände schwächere Wirkungen erzielen konnte. Dadurch wurden die Verhältnisse noch complicirter und weniger übersichtlich.

Schliesslich war auch die Handhabung des primären Stroms etwas umständlich und so sahen wir uns veranlasst, bei den weiteren Untersuchungen eine schon anderweitig vorgeschlagene Modification anzubringen. Wir ersetzten nämlich den Strom der primären Rolle durch den einer zweiten secundären Rolle, die ähnlich gebaut war, wie jene, d. h., sie bestand auch aus grobem Draht, hatte nur 2218 Windungen und einen Widerstand von 18 Ohm. Sie stand also bezüglich Windungszahl und Widerstand zu der Spule von 10050 Windungen und 1030 Ohm in einem ähnlichen Verhältniss, wie die primäre Rolle.

Dass physikalisch eine solche Substitution erlaubt ist, ist leicht einzusehen. Sowohl in der primären, als in der secundären Spule sind es allein die Oeffnungsinductionsströme (in der primären der sogenannte Extracourant), die eine erhebliche physiologische Wirkung haben. Die Schliessungsströme in beiden sind physiologisch fast unwirksam und kommen nicht in Betracht. [1]) Nun ist aber der Oeffnungsinductionsstrom in einer Spule abhängig von folgenden 3 Hauptfactoren:

1. von der Stromstärke des inducirenden Stromes,
2. von der Anzahl der Windungen der Spulen,
3. von dem Widerstand in dem Stromkreis der inducirten Spule.

Diese 3 Momente gelten ohne Ausnahme für alle Spulen, also für die primäre sowohl, wie für die secundäre. Es besteht demnach kein principieller Unterschied zwischen den in ihnen inducirten Strömen; dagegen sind diese graduell verschieden, und zwar um so mehr, je stärker die Spulen in ihrem Bau von einander abweichen.

In unserem Falle ersetzten wir die primäre Spule durch eine secundäre von 2mal grösserer Windungszahl und circa 4,5mal grösserem Widerstand. Die in beiden inducirten Ströme waren daher leicht von einander verschieden; doch war ihre Differenz verschwindend klein im Vergleich zu jener, welche bestand zwischen ihnen und dem Strom der feindrähtigen secundären Spule mit den 10050 Windungen und den 1030 Ohm Widerstand. Die Wirkungsdifferenzen der beiden secundären Spulen mussten im Wesentlichen dieselben sein, wie vorher für die secundäre und primäre Spule.

Durch diese Abänderung der Versuchsweise war den vorher so sehr empfundenen Missständen aufs Wirksamste begegnet. Die beiden secundären Spulen wurden von der gleichen primären Spule inducirt

---

1) Wo daher im Laufe der Arbeit von den Strömen der Spulen die Rede ist, sind stets die Oeffnungsströme gemeint.

und da beide genau gleiche Länge hatten, konnten ihre Abstände von dieser direct als vergleichendes Maass für die Stärke ihrer Ströme dienen. Ferner konnten die Ströme durch einfaches Aendern des Rollenabstandes ohne Weiteres in minimaler und maximaler Stärke benutzt werden, wovon wir bei den folgenden Versuchen mehrfach Gebrauch machten.

Zuerst wiederholten wir nun wieder den Versuch mit der Retina. Wie schon erwähnt, gab uns die Spule mit den 10050 Windungen aus feinem Draht, die wir fortan kurz die feindrähtige nennen wollen, eine erste Lichtempfindung bei 120 Mm. Rollenabstand. Mit der Verminderung des Rollenabstandes nahm die Lichtempfindung an Stärke beträchtlich zu, zugleich aber stellten sich in der Umgebung des Auges sehr schmerzhafte Sensationen ein, so dass bei 100 Mm. der Versuch unterbrochen werden musste. Die grobdrähtige Spule mit 2218 Windungen dagegen gab auch bei 100 Mm. noch keine Lichtempfindung, obgleich die bewirkte Schmerzempfindung schon zu stark war, um ein weiteres Verkleinern des Rollenabstandes zu gestatten.

Versuche, die Dubois schon früher mit Condensatorenentladungen gemacht hat, ermöglichen uns, die soeben gefundenen Differenzen zu erklären. Dubois fand nämlich, dass die Retina in fast specifischer Weise auf die Quantität der Ströme reagirt, unbekümmert darum, ob ihre Curve steiler oder flacher verläuft. Nun ist aber bei den beschriebenen Versuchsbedingungen, wie spätere Berechnungen zeigen werden, die Quantität für den Strom der feindrähtigen Spule grösser, als für den der grobdrähtigen. Es ist daher verständlich, warum letztere die schwächere Wirkung giebt.

Bei der Prüfung der Hautreizung und der Reizung der tieferen Organe verfuhren wir wieder in der früher angegebenen Weise, d. h. wir verwendeten das eine Mal Pinsel bei trockener Haut, das andere Mal ziemlich grosse, wohldurchfeuchtete Elektroden. Es war klar, dass wir es im ersten Falle mit Leitungswiderständen von ganz erheblicher Grösse zu thun hatten, während sie im anderen Falle verhältnissmässig gering waren. Es war ferner einleuchtend, dass, da sonst bei den Versuchen nichts geändert wurde, die Leitungswiderstände in einer gewissen Beziehung standen zu der Wirkungsweise der von beiden Spulen stammenden Ströme. Wir untersuchten daher die Wirkungen dieser Ströme bei verschieden grossen Leitungswiderständen, welche wir dadurch änderten, dass wir Elektroden von verschiedener Grösse und Leitungsfähigkeit nahmen. Das Ergebniss war kurz folgendes: Bei grossen Leitungswiderständen (kleine Elektroden, trockene Haut) war die

feindrähtige Spule bedeutend im Vortheil; je mehr aber die Widerstände abnahmen, desto mehr verlor die feine Spule ihr Uebergewicht über die grobdrähtige, bis diese schliesslich die viel stärkere Wirkung besass.

Zugleich konnte man noch eine andere wichtige Bemerkung machen. Bei grossen Leitungswiderständen localisirte sich die Stromwirkung fast allein in der Haut; je kleiner aber die Widerstände waren, desto mehr trat die Einwirkung auf die tieferen Organe in den Vordergrund. So wurden bei der Anwendung der Pinsel nur die Hautsensibilität und einige oberflächliche Muskeln erregt, und zwar war die Wirkung der feindrähtigen Spule schon bei 110 Mm. Rollenabstand eine unerträglich schmerzhafte, während der Strom der groben Spule noch bei dem Rollenabstand Null gut erträglich war. Bei Verwendung grösserer trockener und schliesslich feuchter Elektroden traten aber immer mehr die Contractionen der tieferen Muskeln hervor, während die Erregung der Hautsensibilität im gleichen Maasse abnahm, bis sie schliesslich fast Null war.

Folgende Tabelle giebt über diese Verhältnisse genaueren Aufschluss. Es sei nur noch bemerkt, dass die in ihr enthaltenen Zahlen für die Rollenabstände keinen Anspruch auf absolute Gültigkeit machen können, da die Bestimmung derselben zu sehr der subjectiven Willkür unterliegt. Immerhin sind, wie mehrfache Controle ergab, Fehler von mehr als 4 Mm. bestimmt auszuschliessen und verlieren die Zahlen daher nichts von ihrer Beweiskraft.

		Rollenabstand	
		Grobdrähtige Spule	Feindrähtige Spule
2 faradische Pinsel (am Unterarm und Handrücken).	Erste Empfindung	128	142
	Schmerzhafte Empfindung	115	132
	Unerträgliche Empfindung . . .	0	110
1 Pinsel (Hand). 1 feuchte Platte (50 Qcm.) Nacken (Anode).	Erste Empfindung	118	149
	Schmerzhafte Empfindung	114	137
	Unerträgliche Empfindung . . .	32	120
2 trockene Metallelektroden (circa 10 Qcm.) an beiden Daumen.	Erste Empfindung	140	146
	Erste schmerzh. Muskelspannung	112	110
	Unerträgliche Empfindung . . .	97	90
1 trockene Metallelektrode. 1 feuchte Nackenplatte (Anode).	Erste Empfindung	149	157
	Erste schmerzh. Muskelspannung	130	119
	Unerträgliche Empfindung . . .	113	114
1 feuchte Knopfelektrode (6 Qcm.) am Thenar. 1 feuchte Nackenplatte.	Erste Empfindung	157	144
	Erste schmerzh. Muskelspannung	130	136
	Unerträgliche Empfindung . . .	110	80
1 feuchte Platte am Arm (50 Qcm.). 1 feuchte Platte im Nacken.	Erste Empfindung	149	127
	Erste schmerzh. Muskelspannung	140	108
	Unerträgliche Empfindung . . .	112	0

Betrachtet man die Zahlen in dieser Tabelle genauer, so kann man sie leicht in 3 Gruppen theilen. Die 1. Gruppe enthält die 6 ersten Zahlen für jede Spule, also die 2 ersten Versuche, bei welchen die Leitungswiderstände am grössten waren. Hier zeigt sich ein deutliches Vorwiegen der feindrähtigen Spule, namentlich für die unerträgliche Empfindung, welche für die feine Spule schon bei 110 Mm. eintrat, während sie für die grobe Spule nahezu ausblieb. Die 2. Gruppe umfasst die beiden folgenden Versuche mit mittleren Widerständen. Wir sehen einerseits eine Abnahme der Zahlen für die feine Spule, andererseits eine Zunahme jener für die grobe Spule, so dass beide Spulen an Wirkung ziemlich gleich sind. War in der vorigen Gruppe die Wirkung eine fast reine Hautwirkung, so traten hier die Erregungen der tieferliegenden Muskeln schon deutlich hervor. In der 3. Gruppe endlich mit kleinen Widerständen dauert die Zunahme, resp. Abnahme der Zahlen für beide Spulen an und es kommt zum erheblichen Vorwiegen der grobdrähtigen Spule. Umgekehrt wie in der 1. Gruppe wird hier die grobe Spule bei 112 Mm. unerträglich; dagegen bleibt die feine Spule auch noch bei Null ganz gut erträglich. Die Wirkung war jetzt fast rein auf die Muskeln beschränkt.

Gern hätten wir die Tabelle noch vervollständigt durch die Angabe der Widerstände bei jedem einzelnen Versuche, aber die Ströme, mit denen wir operirten, waren zu schwach, um an unserem sehr empfindlichen Galvanometer eine deutliche Ablenkung zu bewirken, wenn grosse Körperwiderstände eingeschaltet waren. Dazu kam noch, dass das Galvanometer bei maximaler Empfindlichkeit 5000 Ohm Widerstand bot, wodurch die Ströme noch mehr geschwächt wurden. Zwar hätte man diesen Widerstand durch Shuntiren auf 50 reduciren können; doch hätte man damit zugleich die Empfindlichkeit so sehr vermindert, dass die Ablenkungen unmessbar geworden wären.

Bei grossen Körperwiderständen war daher nichts zu machen und so beschränkten wir uns auf den günstigsten Fall, wo die Körperwiderstände infolge Anwendung grosser, feuchter Elektroden möglichst klein, die Ströme möglichst stark waren. Bei der Bestimmung verfuhren wir wie folgt:

Zuerst wurden in den Stromkreis der feindrähtigen Spule der Körper und das Galvanometer eingeschaltet. Der Stromkreis enthielt also an Widerständen:

Spule	1030 Ohm
Galvanometer	500 „ (shuntirt)
Körper . . .	—

Nun wurden mit Einzelschlägen die Ablenkungen am Galvanometer bestimmt. Dieselben betrugen

für den Schliessungsschlag . . . 3 Theilstriche
" " Oeffnungsschlag . . . . 18 "

Hierauf wurde der Körper durch einen Rheostat ersetzt und die Widerstände in diesem so lange geändert, bis am Galvanometer die gleiche Ablenkung von 18 (am Körper ist allein der Oeffnungsschlag maassgebend) erzielt wurde. Dies trat ein bei einem Rheostatwiderstand von 4300 Ohm. Somit repräsentirte der Körper in unserem Versuch mit den feuchten Elektroden und der feinen Spule einen Widerstand von 4300 Ohm.

Ganz das gleiche Experiment mit der grobdrähtigen Spule gemacht ergab eine Ablenkung durch den Oeffnungsstrom von 7 Theilstrichen, woraus sich der Körperwiderstand zu 2500 Ohm bestimmen liess.

Ehe wir näher eingehen auf die Besprechung der Theorien, welche gegeben wurden zur Erklärung der Duchenne'schen Befunde, sei noch eine weitere Tabelle mitgetheilt, die sich von der anderen nur unwesentlich unterscheidet. Es wurde nur die treibende Batterie um die Hälfte, also auf 2 Callaud reducirt; ferner wurde, sobald die Muskelwirkung deutlicher wurde, die erste Contraction bestimmt, statt wie früher die erste schmerzhafte Spannung, da das Auftreten der ersten Muskelcontraction eine präcisere Grenze giebt, als die erste Schmerzhaftigkeit.

		Rollenabstand	
		Grobe Spule	Feine Spule
2 Pinsel (Vorderarm und Hand).	Erste Empfindung	112	130
	Schmerzhafte Empfindung . .	25	105
	Unerträgliche Empfindung . .	0	60
1 Pinsel (Hand). 1 feuchte Elektrode (Nacken).	Erste Empfindung	130	140
	Schmerzhafte Empfindung . .	102	105
	Unerträgliche Empfindung . .	40	55
2 trockene Metallelektroden (Daumen).	Erste Empfindung	123	131
	Erste Muskelcontraction . . .	96	105
	Unerträgliche Empfindung . .	40	45
1 Metallelektrode (Daumen). 1 feuchte Platte (Nacken).	Erste Empfindung	132	134
	Erste Muskelcontraction . . .	110	110
	Unerträgliche Empfindung . .	87	60
1 feuchte Knopfelektrode (Thenar). 1 feuchte Platte (Nacken).	Erste Empfindung	147	135
	Erste Muskelcontraction . . .	133	125
	Unerträgliche Empfindung . .	80	0
2 feuchte Platten (Arm und Nacken).	Erste Empfindung	145	128
	Erste Muskelcontraction . . .	132	90
	Unerträgliche Empfindung . .	75	0

Auch in dieser Tabelle lassen sich wieder 3 Gruppen unterscheiden. Die erste enthält die maximale Wirkung der feinen Spule,

in der zweiten wirken beide Spulen ziemlich gleich, und in der dritten überwiegt die grobdrähtige Spule. Im Uebrigen gilt hier das Gleiche, wie für die andere Tabelle.

Sehen wir uns nach Erklärungen für diese räthselhaft erscheinenden Befunde[1]) um, so sind es namentlich drei, die uns in allen besseren Lehrbüchern begegnen. Wir bemerkten jedoch bereits, dass eine vollständige Lösung der Frage nicht gegeben sei und es liegt uns nun ob, die Unzulänglichkeit der gegebenen Erklärungen nachzuweisen.

Beginnen wir mit jener, die Rosenthal in seiner „Elektricitätslehre für Mediciner. 2. Aufl. S. 119" niedergelegt hat. Rosenthal sagt daselbst wörtlich:

„Die secundäre Spirale des Duchenne'schen Apparates besteht aus sehr zahlreichen Windungen eines ausserordentlich dünnen Drahtes. Mit der Zahl der Windungen wächst natürlich die elektromotorische Kraft des in ihr erzeugten Inductionsstroms, mit der Länge und Dünne des Drahtes wächst aber auch ihr Widerstand. Dieser ist daher bei dem Duchenne'schen Apparat ein sehr beträchtlicher. Benutzt man die secundäre Rolle zur Erregung der sensiblen Nerven, so kommt dieser Widerstand gegen den noch viel grösseren der trockenen Epidermis nicht so sehr in Betracht, man erhält eine kräftige Erregung. Dahingegen ist dieser Widerstand von sehr erheblichem Einfluss auf die Stromstärke, wenn es sich darum handelt, Muskeln zu erregen. Denn indem man in diesem Falle durch die Anwendung der feuchten Elektroden den Widerstand im menschlichen Körper herabsetzt, bleibt doch der Widerstand der Inductionsspirale so gross, dass der Strom keine erhebliche Stärke erreichen kann. Die ungeheure Windungszahl der secundären Spirale schadet aber in diesem Falle mehr, als durch die Vermehrung der inducirenden Wirkung gewonnen wird. Benutzt man dagegen den Extrastrom zur Erregung der Muskeln, so bekommt man kräftige Wirkungen, da jetzt bei dem geringeren Widerstand des eingeschalteten Körpertheiles selbst bei geringerer inducirender Wirkung die Ströme schon hinreichend stark werden."

Damit ist die Idee ausgesprochen, dass die Zunahme der Stromstärke der secundären Spirale mit der Verminderung der Leitungswiderstände eine äusserst geringe sei, da die Stromstärke in erster Linie bestimmt sei durch den grossen Widerstand der Spule selbst;

1) Duchenne's Angabe in Betreff der Retina betrachten wir als erledigt und lassen sie, ebenso wie seine 4. und 5. Angabe (s. dort), fortan unberücksichtigt.

dass hingegen die Stromstärke des Extracourants um so grösser sei, je kleiner die Widerstände sind, und dass bei den Widerständen, wie sie bei nassen Elektroden vorliegen, der Extracourant bereits eine grössere Stromstärke besitze, als der secundäre Strom. Diese letztere Annahme ist aber, wie wir bei der Besprechung der dritten Erklärung noch sehen werden, nicht richtig. Ausserdem lässt sich gegen Rosenthal's Erklärung folgender Einwand machen. Die Duchenne'schen Befunde sind nicht an eine Construction gebunden, wie sie bei Duchenne's Apparat vorlag. Sie lassen sich mit jedem Schlittenapparat wiederholen und waren zum Beispiel sehr deutlich mit einem Apparat, dessen secundäre Spule nur 56 Ohm, dessen primäre 0,5 Ohm hatte. Auch bei den Versuchen, die wir im Anfang erwähnt haben, hatte die secundäre Spule nur 1030 Ohm Widerstand, eine Zahl, gegen welche die Körperwiderstände gewiss nicht zu vernachlässigen sind.

Wenn man in unseren Tabellen die Zahlen für die feindrähtige Spule betrachtet, so könnte man allerdings meinen, der Strom dieser Spule verliere mit der Abnahme der Widerstände an Stärke, denn bei 110 Rollenabstand werden die Pinsel unerträglich, während bei manchen Elektroden der Strom noch bei eingeschobenen Spulen erträglich ist. Wir haben aber schon mehrfach bemerkt, dass es sich bei den verschiedenen Elektroden, also auch Widerständen, gar nicht um die gleiche Wirkung handelt. Bei den Pinseln hatten wir eine fast reine Hautwirkung, bei den feuchten Elektroden eine fast reine Muskelwirkung. Im ersteren Falle war die Wirkung schmerzhafter, als im letzteren, aber das sagt nicht, dass sie auch stärker war. Im Gegentheil machte der Strom der feinen Spule bei feuchten Elektroden viel umfangreichere und energischere Muskelcontractionen, als bei den Pinseln, wo nur einige oberflächliche Muskeln in Contraction geriethen. Dass bei den Pinseln und den trockenen Elektroden die feine Spule so mächtig auf die Hautsensibilität wirkt, das hat einen anderen Grund. Setzen wir nämlich die Pinsel leicht auf die Haut auf, so kommen nur sehr wenige der Drahtborsten mit derselben in innige Berührung. Diese haben aber einen sehr geringen Querschnitt und die Summe derselben stellt eine Elektrode von kaum $^1/_4$ Qcm. Oberfläche dar. Die gesammte Strommenge muss nun auf diesem kleinen Querschnitt in die Haut eindringen, wobei er eine solche Dichtigkeit erlangt, dass er nothwendigerweise die Hautnerven aufs Heftigste erregt. Das Gleiche gilt für trockene grössere Elektroden, welche stets nur an wenigen Punkten der Haut dicht anliegen. Nehmen wir nun für die gleichen Elektroden und Pinsel den Strom der grob-

drähtigen Spule, so erhalten wir eine sehr geringe Hautwirkung. Hier kommt nun die Spannung in Betracht. Der Strom der feinen Spule mit seiner hohen Spannung überwand leicht den grossen Widerstand der trockenen Epidermis; daher er dieselbe in voller Stärke durchsetzte und jenseits derselben kräftig wirkte. Der Strom der groben Spule dagegen war viel weniger gespannt, trat in viel geringerer Stärke in die Haut ein und wirkte daselbst entsprechend schwächer. Hiermit berühren wir jedoch schon die zweite Theorie, nämlich die von Becquerel.

Becquerel behauptet, dass der Strom der windungsreicheren secundären Spule viel höher gespannt sei und dass er deshalb besser wirke, als der Strom der Duchenne'schen primären Spule. Dass er damit unter Umständen Recht hatte, muss man unbedingt zugeben. Die bessere Wirkung unserer feindrähtigen Spule bei grossen Körperwiderständen haben wir ja selbst mit der Spannung erklärt. Becquerel lässt uns aber ganz im Unklaren darüber, warum die secundäre Spule am Duchenne'schen Apparat dieses Uebergewicht über die primäre Spule nicht auch behält, wenn die Widerstände gering sind, und warum sie sich gar von dieser überflügeln lässt.

Diesen Defect der Becquerel'schen Erklärung sucht nun eine dritte Theorie zu ergänzen. Dieselbe wird von der neueren französischen Schule vertreten [1]) und geht von der Behauptung aus, dass der Extracourant, oder der Strom einer grobdrähtigen Spule bei niederen Widerständen eine grössere Quantität besitze, als der Strom der secundären Rolle, und dass hiermit seine stärkere Wirkung begründet sei. Im Grunde genommen ist diese Theorie nichts Anderes, als die, welche auch Rosenthal gegeben hat; nur ist hier von Quantität die Rede, während Rosenthal von Stromstärke spricht. Beide Theorien gehen aus von Vergleichen der Spulen mit galvanischen Batterien. Die secundäre Spule kann man sich vorstellen als eine Batterie aus sehr zahlreichen, aber kleinen Elementen, die zwar eine grosse elektromotorische Kraft, aber auch einen sehr grossen inneren Widerstand besitzt. Die Stromstärke oder Intensität wird hauptsächlich von diesem bestimmt, nach dem Ohm'schen Gesetz, und erreicht keine erhebliche Grösse. Die primäre Spule dagegen repräsentirt eine Batterie aus weniger zahlreichen, aber viel grösseren Elementen. Ihre elektromotorische Kraft ist daher kleiner als bei der anderen Batterie, aber ihre Stromstärke erreicht auch, wenn äussere Widerstände nicht in Betracht kommen, eine bedeutendere

1) Siehe Onimus und Legros.

Grösse, da der innere Widerstand hier viel kleiner ist. Kommen nun äussere Widerstände in Frage, so erniedrigen sie, wenn sie auch nicht sehr gross sind, die Stromstärke der kleinen Batterie sehr bedeutend, während sie jene der grossen Batterie kaum beeinflussen. Es giebt also einen äusseren Grenzwiderstand, bei dem beide Batterien gleiche Stromstärke haben. Wir berechnen ihn aus der Ohm'schen Formel $I = \frac{E}{w + w_1}$, worin w der gesuchte äussere, w_1 der bekannte innere Widerstand der Batterie ist.

Diese Formel können wir nun direct auf unsere Spulen anwenden, wenn wir I mit Q, Quantität, ersetzen. Nehmen wir jedoch vorläufig an, dass bei unbeeinflussten Inductionsströmen in gleicher Weise, wie bei Condensatorenentladungen, die Intensität [1]) direct proportional ist der Quantität, so können wir in der Formel $I = \frac{E}{w + w_1}$ auch das I stehen lassen. Der Grund, warum uns die Formel für Inductionsströme eigentlich Q ergiebt, ist leicht zu verstehen an der Hand der Wirkungsweise des Galvanometers.

Für galvanische Ströme giebt uns das Galvanometer bekanntlich einen Ausschlag, entsprechend der Intensität des Stromes. Auf die kurzdauernden Inductionsströme aber, welche eine asymptotisch zur Abscisse abfallende Curve darstellen, reagirt es gemäss dem ballistischen Gesetz. Die Ablenkung entspricht dem Product aus Intensität und Zeit, d. h. der Quantität, und zwar wird die Quantität gemessen durch den Sinus des halben Winkels, wofür wir bei kleinen Winkeln den Winkel nehmen können.

Kehren wir nach diesem kleinen Excurs zu unseren Spulen zurück, so können wir für dieselben folgende Formeln aufstellen:

für die feine Spule I resp. $Q = \frac{10050 \text{ Windungen}}{w + 1030 \text{ innerer Widerstand}}$,

für die grobe Spule I resp. $Q = \frac{2218 \text{ Windungen}}{w + 18 \text{ innerer Widerstand}}$,

wobei w = äusserer (Körper-) Widerstand, 1030 und 18 = Widerstände der Spulen sind.

Setzen wir voraus, Q sei für beide Spulen gleich, dann können wir schreiben:

$$\frac{10030}{w + 1050} = \frac{2218}{w + 18}$$

woraus wir w berechnen = 268.

1) Da bei Inductionsströmen und Entladungen die Intensität in jedem Moment wechselt, so versteht man unter Intensität schlechthin die maximale Intensität. d. h. den Gipfel ihrer Curve.

Die beiden zu unseren Versuchen gebrauchten Spulen geben also gleiche Quantität bei einem Widerstand im Stromkreis von 268 Ohm. Den gleichen Werth hat schon früher Dubois experimentell am Galvanometer gefunden. Nun ist aber 268 Ohm ein Widerstand, wie er bei unseren Versuchen nie vorkam. Selbst im günstigsten Falle, bei grossen, gut befeuchteten Elektroden betrug er immer noch mindestens 2000 Ohm und doch wirkte hier die grobdrähtige Spule schon viel stärker, als die feindrähtige. Nach der mitgetheilten Theorie durfte sie dies aber erst bei einem 10mal geringeren Widerstand thun, bei circa 200 Ohm.

Wir sehen also, dass auch diese Theorie von der Quantität unsere Versuche nicht erklärt, sondern sie nach wie vor räthselhaft erscheinen lässt. Und doch müssen die Erscheinungen ihren physikalischen Grund haben. Dubois, dessen Angaben im folgenden Kapitel genau angegeben werden, hat seine Ansicht in der Dissertation von Stauffer [1]) geäussert und eine Erklärung in dem Auftreten von *Selfinduction* gefunden.

Dubois'sche Erklärung.

Wie wir im vorigen Kapitel gesehen haben, ist es möglich, die bessere Wirkung der feinen Spule bei hohen Widerständen durch ihre grössere Spannung zu erklären. Dagegen lässt uns diese Erklärung ganz im Stich für die Verhältnisse, wie sie vorliegen, wenn die Widerstände im äusseren Stromkreis klein sind.

Bei Widerständen von circa 2000 Ohm wirkte ein Strom, der hochgespannt war (10050 Windungen), d. h. in Function des Widerstandes hohe initiale Intensität [2]) besass und am Galvanometer gemessen grosse Quantität besass (repräsentirt durch 70 Theilstriche), bedeutend schwächer, als der Strom einer viel weniger gespannten Spule (2218 Windungen) von weit geringerer (4 Theilstriche) Quantität.

Man beachte das Paradoxon:

Hohe Spannung, grosse Quantität — minime Wirkung.
Niedere = kleine = — enorme =

1) Mittheilungen der naturforsch. Gesellschaft. Bern 1890.

2) Sowohl bei Inductionsströmen, als bei Condensatorenentladungen ändert sich die Intensität von Moment zu Moment. Nach der kurzen Zeit des variablen Zustandes erreicht die Curve rasch ihre grösste Höhe, um dann asymptotisch zur Abscisse abzufallen. Den Gipfel der Curve bezeichnen wir mit initialer Intensität und nehmen dabei an, dass, bei unbehindertem Verlauf, dieselbe der elektromotorischen Kraft (resp. Windungszahl) direct, dem Widerstand im Stromkreis umgekehrt proportional ist, ganz wie für die Quantität, welche durch die Fläche der Curve gemessen wird.

Welches ist die Ursache dieses Phänomens?

Ein Fehler in der Versuchsanordnung war absolut ausgeschlossen. Windungszahl und Widerstand einer jeden Spule waren ein für allemal bestimmt und auch die Quantität der von ihnen gelieferten Ströme bei besagtem Widerstand war durch wiederholte Messungen in unzweideutigster Weise festgestellt. Die Differenz in der Wirkung endlich war so eminent, dass hier nicht der leiseste Zweifel auftauchen konnte.

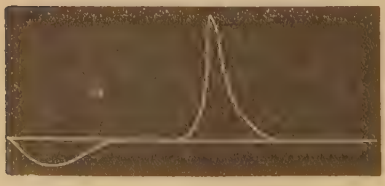
Bei der Betrachtung dieser Verhältnisse kam nun Dubois zu folgendem Schluss. Wenn ein Strom von hoher Spannung, gemessen durch die Windungszahl, und von grosser, am Galvanometer abgelesener Quantität dennoch physiologisch wenig wirksam ist, so ist man berechtigt anzunehmen, dass Etwas den Aufstieg des Stromes hindert, und zwar kann dies Etwas nur in dem Auftreten von *Self-induction* liegen.

Ein Beispiel, wo ein Strom trotz hoher Quantität nur unbedeutende physiologische Wirkung zeigt gegenüber einem Strom von gleicher Quantität, findet sich leicht bei der Betrachtung von Oeffnungs- und Schliessungsstrom einer jeden secundären Spule.

Es ist allgemein bekannt, dass der Schliessungsstrom physiologisch fast unwirksam ist. Man erklärt sich dies aus der Wirkung eines Extracourants, der im Moment der Schliessung in der primären Rolle entsteht und dem inducirenden Strom entgegenwirkt, so dass dieser in seinem Anstieg behindert und verzögert wird. Der so modificirte primäre Strom vermag dann in der secundären Spule nur einen ebenso langsam verlaufenden Strom zu induciren und dieser bewirkt, weil er seine Wirkung auf einen zu grossen Zeitraum vertheilt, fast keinen physiologischen Effect. Das modificirende, die Intensität vermindernde Moment ist also hier ein Extracourant.

In Betreff des Oeffnungsinductionsstromes nimmt man an, dass bei der Oeffnung eigentlich auch ein Extracourant in der primären Rolle inducirt wird, dass er aber infolge Oeffnung der Kette nicht zur Geltung kommt. Der Oeffnungsstrom in der secundären Rolle steigt unbehindert rasch zu einer vollen Intensität und entfaltet seine ganze Wirkung auf einmal, daher der grosse physiologische Effect.

Fig. 1.

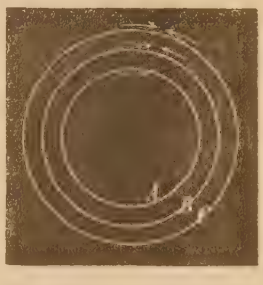


Graphisch drückt man das Verhältniss zwischen Schliessungs- und Oeffnungsschlag so aus, dass man den ersteren durch eine flache bogenförmige Curve darstellt, letzteren durch eine steile, spitze Curve bezeichnet.

Dieses Beispiel ist einfach und leicht verständlich und giebt uns einen Fingerzeig, wie wir unsere Frage mit einem Schlag lösen können. Wir brauchen nur für die feine Spule einen Strom anzunehmen, der dem Oeffnungsstrom — denn dieser allein kommt in Betracht — entgegenläuft und ihn abschwächt. Aber man muss die Existenz dieses Gegenstroms nachweisen, angeben, wie und wo er entsteht.

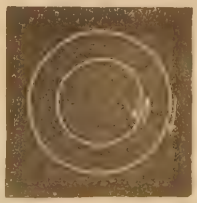
Betrachten wir weiter die bekannte Thatsache, dass durch eine Duchenne'sche Kupferhülse die physiologische Wirkung eines Inductionsstromes stark beeinflusst wird, ohne dass die Quantität geändert wird, so haben wir hier ein Beispiel, wo der Oeffnungsstrom in seiner Intensität modificirt wird. Die Art und Weise, wie das geschieht, ist leicht zu verstehen an der Hand des nebenstehenden Schemas (Fig. 2). Beim Oeffnen des Stroms in der primären Rolle *A* werden nämlich 2 Ströme inducirt, je einer in der Kupferhülse *B* und in der secundären Spule *C*. Beide haben gleiche Richtung und induciren, jeder in dem anderen Leiter, einen Strom, der dem erstinducirten entgegenläuft. Die Folge davon ist, dass dieser in seinem Anstieg behindert und abgeflacht wird, so dass er an physiologischer Wirksamkeit einbüsst.

Fig. 2.



Eng hieran an schliesst sich die dämpfende Wirkung einer geschlossenen secundären Spule auf den Oeffnungsextracourant der primären Rolle (Fig. 3). Der in jener inducirte Oeffnungsstrom hat mit dem Oeffnungsextracourant der primären Spule gleiche Richtung. Der Strom, den er daher in dieser inducirt, ist dem Extracourant entgegengesetzt gerichtet, er verzögert ihn und schwächt ihn physiologisch ab.

Fig. 3.



Die gegebenen Beispiele sind so einfach und ihre Erklärungen so einleuchtend, dass die Richtigkeit derselben wohl auf keinen Widerspruch stösst. Es wurde darin angenommen, dass ein inducirter Strom wiederum inducirend wirken könne auf einen benachbarten Leiter. Nun ist aber nicht einzusehen, dass, wenn ein Strom in einem benachbarten Leiter einen Strom zu induciren vermag, er dies nicht auch thun sollte in seinem eigenen Leiter. Ja, er muss im Gegentheil in seinem eigenen Leiter einen noch viel stäkeren Strom induciren, als in einem fernen Leiter, ent-

sprechend der viel geringeren Entfernung des Stromes vom Leiter. Wir kommen mit anderen Worten auf die Annahme der *Selfinduction* in jeder Spule.

Die Existenz der *Selfinduction* ist nichts neu Entdecktes, sondern war schon dem Begründer der Lehre von der Induction, Faraday, bekannt. Denn was sind die von ihm in der primären Spule angenommenen Extracourants Anderes, als *Selfinduction*?

Merkwürdig ist nur, dass man die *Selfinduction* in der secundären Spule selbst und für den Oeffnungsinductionsstrom nicht berücksichtigt hat. Und doch muss der Oeffnungsstrom seinen Gegenstrom, seinen Extracourant, haben, so gut wie der inducirende in der primären Spule.

Allerdings ist in der primären Spule der inducirende Strom ein galvanischer Strom, aber um eine specifische Wirkung desselben bei der *Selfinduction* kann es sich sicher nicht handeln; denn ein Strom ist ein Strom, stamme er direct aus der Batterie, oder sei er inducirt.

Wir kommen also zu dem Schluss, dass der physiologisch so wirksame Oeffnungsinductionsstrom durchaus nicht so unbeeinflusst ist, wie man bisher annahm, sondern dass er der starken Wirkung eines durch *Selfinduction* erzeugten Gegenstromes unterliegt.

Einmal zu der Annahme der *Selfinduction* gekommen, ergaben sich die Beweise ihrer Existenz von selbst. So war es nur ein kleiner Schritt zu folgender Betrachtung. Angenommen wir haben zwei Drähte von gleichem Leitungswiderstand, von welchen der eine in Solenoidform, der andere aber bifilär gewickelt ist, um *Selfinduction* zu vermeiden. Schicken wir nun einen Inductionsstrom nacheinander durch beide Drähte und durch den Körper, so muss er in dem Solenoid *Selfinduction* erzeugen und physiologisch viel schwächer werden, als beim Durchströmen des bifilären Drahtes.

Das Experiment war leicht auszuführen. Ein Draht in Solenoidform bot sich in jeder Spule eines Inductionsapparats und einen bifilär gewickelten Draht stellt jeder bessere Rheostat dar. Wir machten daher das Experiment in folgender Weise.

Ein Inductionsapparat, dessen primäre Rolle 0,65, dessen secundäre 113,5 Ohm Widerstand hatte, wurde von einem Element Daniell getrieben. In den Stromkreis der secundären Spule schalteten wir unsere feindrähtige Spule ein von 10050 Windungen und 1030 Ohm Widerstand und einen bifilär gewickelten Rheostat von ebenfalls 1030 Ohm, doch so, dass durch einen Schleifwechsel bald die Spule, bald der Rheostat eingeschaltet werden konnte und nur immer eines

von beiden eingeschaltet war. Ausserdem befand sich im Stromkreis der Körper. Nun liessen wir zuerst den Strom durch die 1030 Ohm des Rheostats gehen, wobei die Versuchsperson entsprechend dem Rollenabstand der secundären Spule des Inductionsapparates eine ziemlich kräftige Wirkung empfand. Wurde jetzt plötzlich der Rheostat aus- und die Spule eingeschaltet, so sank die Stromwirkung auf fast Null. Die Spule schwächte also den Strom physiologisch in viel stärkerem Grade als der Rheostat, obgleich beide ganz genau gleich grossen Leitungswiderstand hatten, was man anders, als mit *Selfinduction* nicht wohl erklären kann.

Mit diesem Experiment konnte man die *Selfinduction* als bewiesen ansehen und es handelte sich nun noch darum, einen Begriff für ihre Grösse zu bekommen. Wir schalteten wieder die Spule ein und veränderten so lange den Rollenabstand im stromliefernden Apparat, bis gerade der Strom eine erste Muskelcontraction am Thenar hervorrief. Hierauf ersetzten wir wieder die Spule durch den Rheostat von 1030 und erhielten sehr starke Muskelcontractionen. Durch Vermehrung der Rheostatwiderstände gelang es, die Wirkung zu mässigen, bis endlich bei 15700 Ohm der Strom genau so stark wirkte, wie vorher, wo er von der Spule allein gedämpft wurde.

Wir hatten also jetzt ein Maass für die stromschwächende *Selfinduction* in unserer Spule von 10050 Windungen. Wir konnten uns die *Selfinduction* ersetzt denken durch einen Widerstand von 15700 Ohm, dem 15fachen des Widerstandes der Spule selbst.

Nun machten wir den ganz gleichen Versuch mit unserer zweiten Spule von 2218 Windungen und 18 Ohm Widerstand. Das Ergebniss war, dass die *Selfinduction* in derselben den Strom schwächte, wie ein Widerstand von 810 Ohm, also genau 45mal so stark, als ihr eigener Widerstand. In beiden Fällen liessen sich die Zahlen 15700 und 810 mit grosser Sicherheit bestimmen, da schon 50 Ohm mehr oder weniger von der Versuchsperson deutlich bemerkt wurden.

Die *Selfinduction* in dieser Spule war also relativ grösser, wie in der anderen, was augenscheinlich damit zusammenhing, dass bei ihr das Verhältniss von Windungszahl zu Eigenwiderstand ein grösseres ist, als dort. Leider war es uns nicht möglich, diesen Zusammenhang mathematisch genau zu bestimmen; vielleicht findet sich dazu ein Mathematiker oder Physiker von Fach.

Immerhin gestatteten uns die Befunde, folgenden Satz auszusprechen:

In jeder stromdurchflossenen Spule findet *Selfinduction* statt. Dieselbe vermindert die physiologische Wirkung der Ströme der

Spule, besonders auch des Oeffnungsstromes in demselben Maasse, wie ein Widerstand, der um ein Vielfaches grösser ist, als der Eigenwiderstand der Spule.

Die Grösse dieses Vielfachen wird bestimmt durch Windungszahl und Widerstand der Spule.

Hiermit kommen wir zum letzten Theil des Beweises der Dubois'schen Erklärung. Um das bisher Gesagte noch einmal schnell zu recapituliren, erinnern wir daran, dass Dubois als Ursache dafür, dass unsere hochgespannte Spule bei kleinen Widerständen im Stromkreis schwächer wirkt, als die weniger gespannte, annahm, es sei die initiale Intensität der Ströme beider verschieden durch *Selfinduction* beeinflusst und deshalb geringer für die feindrähtige Spule. Es gelang uns, darzuthun, dass die Ströme beider Spulen unter dem Einfluss starker Selbstinduction stehen, und wir konnten sogar die Stärke der *Selfinduction* in beiden Spulen angeben. Es bleibt uns nur noch übrig, zu zeigen, welchen Werth die initiale Intensität der Ströme bei verschiedenen Widerständen im Stromkreis unter dem Einfluss dieser *Selfinduction* erreicht und dass in der That die feindrähtige Spule bei einem Widerstand von z. B. 1000 Ohm trotz grösserer Quantität geringere initiale Intensität besitzt, als die grobdrähtige.

Zu diesem Zweck gehen wir aus von der Ohm'schen Formel $I = \frac{E}{w + w_1}$, indem wir die Spule mit einer Batterie vergleichen, deren elektromotorische Kraft repräsentirt ist durch die Zahl der Windungen. In dieser Formel bedeutet w den Widerstand im äusseren Stromkreis, in unserem Falle also den Körperwiderstand, w_1 den Widerstand im inneren Stromkreis, also den Widerstand der Spule selbst.

Für unsere feindrähtige Spule lautet demnach die Formel bei einem Körperwiderstand von 1000 Ohm

$$I = \frac{10050}{1000 + 1030} = 4{,}9.$$

Nun wissen wir aber durch unsere Experimente, dass die Formel in dieser Form nur richtig ist, wenn keine *Selfinduction* vorhanden wäre. Infolge der *Selfinduction* jedoch wird I vermindert in einem Grade, als sei der Widerstand der Spule 15 mal grösser. Wir müssen daher die Formel so schreiben

$$I = \frac{10050}{1000 + 15700},$$

woraus wir für I einen Werth berechnen = 0,6.

In gleicher Weise erhalten wir für die grobdrähtige andere Spule die Formel:

$$\text{ohne } \textit{Selfinduction} \quad I = \frac{2218}{1000 + 18} = 2{,}1$$

$$\text{mit } \textit{Selfinduction} \quad I = \frac{2218}{1000 + 810} = 1{,}22$$

Es zeigt also in der That die grobdrähtige Spule bei einem Körperwiderstand von 1000 Ohm eine grössere Intensität, als die feindrähtige, und zwar ist sie doppelt so gross als bei dieser, während die Quantität ihres Stromes noch bedeutend hinter derselben zurücksteht.

Das mit unseren zwei Spulen angestellte Experiment zeigt uns mit aller Sicherheit, dass die feine Spule von 1030 Ohm die physiologische Wirkung eines Inductionsstromes abschwächt wie ein Widerstand von 15700 Ohm. Die grobe Spule von 18 Ohm wirkt gleich schwächend wie ein Rheostat von 810 Ohm. Setzen wir den Körperwiderstand z. B. 3000 Ohm, so ergiebt die Rechnung

$$\text{für die feine Spule} \quad \frac{10050 \text{ Windungen}}{15700 + 3000} = 0{,}53$$

$$\text{für die grobe Spule} \quad \frac{2218}{810 + 3000} = 0{,}58,$$

also eine grössere Stromstärke für die wenig gespannte und grobdrähtige Spule.

Diese Rechnung ist klar und in die Augen springend, sie kommt aber zum Ziel auf Umwegen. Was im Stromkreis schwächend wirkt, ist kein in Ohm messbarer Widerstand, es ist ein Gegenstrom, erzeugt durch *Selfinduction*. Wir haben es mit Potentialabnahme und nicht mit einer Widerstandsvermehrung zu thun; es lässt sich aber die Sache umkehren. Durch Experiment und Berechnung haben wir gefunden, dass bei 3000 Ohm die feine Spule eine Stromstärke von 0,53, die grobe eine solche von 0,58 giebt. Wir kennen die wirklichen, in Ohm gegebenen Widerstände im Stromkreis; sie sind für die feine Spule 1030 + 3000, für die grobe 18 + 3000. Nun ist $E = IW$, also

für die feindrähtige Spule $E = 0{,}53 \cdot 4030 = 2236$

„ „ grobdrähtige „ $E = 0{,}58 \cdot 3018 = 1750$

Durch Auftreten des Selbstinductionsstromes ist das Potential der feinen Spule gesunken von 10050 auf 2236, d. h. auf circa 22 Proc. des ursprünglichen Werthes; das der groben Spule sank nur auf 1750 oder auf 78 Proc. des ursprünglichen Werthes. Die elektromotorische Kraft der feinen Spule ist somit durch *Selfinduc-*

tion viel erheblicher vermindert worden, als die der groben Spule. Sie ist nicht viel grösser für die feine, als für die grobe Spule (2236 zu 1750), und da für letztere die Gesammtwiderstände kleiner sind (3018 statt 4030), so ist sie auch im Vortheil.

Setzen wir noch genau auseinander, wie die Annahme der *Self-induction* die Verhältnisse modificirt.

Früher nahm man an, dass der Oeffnungsinductionsstrom der secundären Spule unbehindert in seinem Anstieg sei. Man musste annehmen, dass sowohl seine initiale oder maximale Intensität (Gipfel seiner Curve), wie seine Quantität (Fläche der Curve) der elektromotorischen Kraft direct und dem Widerstand umgekehrt proportional sei. Als Maassstab für die elektromotorische Kraft konnte nur die Windungszahl angenommen werden. — Berechnet man danach die Stromstärke, so kommt man zu dem Schlusse, dass erst bei ganz geringen Widerständen, wie sie in der Elektrotherapie nie vorkommen, von einem Ueberwiegen der grobdrähtigen Spule die Rede sein kann. Versuch und Berechnung zeigen, dass unsere beiden Spulen erst beim Widerstand 268 Ohms gleich wirken.

Nun lehrt die Erfahrung, dass schon bei Widerständen von 2000, ja noch bei 3000 Ohm (Körperwidersand) die grobdrähtige Spule eine viel bessere Wirkung giebt. Diese Thatsache bleibt unerklärt bei der noch jetzt herrschenden Ansicht, dass der Oeffnungsstrom in seinem Anstieg unbehindert sei.

Alles wird sofort klar bei der Annahme der *Selfinduction*. Der Oeffnungsstrom inducirt in seinem eigenen Leiter einen Gegenstrom; er verhindert sich so zu sagen selbst in seinem Anstieg. Das Auftreten dieses Gegenstroms verändert nun in keiner Weise die Quantität, den galvanometrischen Ausschlag; die Fläche der Curve bleibt dieselbe. Dagegen wird dadurch die initiale, maximale Intensität (Gipfel der Curve) ganz erheblich vermindert.

Für die Berechnung der Intensität ist die elektromotorische Kraft nicht mehr gemessen einfach durch die Windungszahl. Sie ist $E - E'$, wobei E' die elektromotorische Kraft des Gegenstroms darstellt. — Bei Berücksichtigung dieses Gegenstroms zeigt sich, dass die elektromotorische Kraft der beiden Spulen ($E - E'$) nicht mehr viel von einander differirt (2236 und 1750 Windungen). Dagegen ist ihr Ohmwiderstand sehr verschieden (1030 und 18 Ohm). Ein Ueberwiegen der grobdrähtigen Spule ist nun auch bei äusseren Widerständen von 2000—3000 Ohm leicht erklärlich. — Das Paradoxon ist somit in zwangloser Weise erklärt.

Im Anschluss hieran sei noch ein Versuch von Dubois mitgetheilt, der als Nutzanwendung der gefundenen Resultate gelten kann.

Ein Jeder, der die fusslangen Blitze gesehen hat, die der Strom eines Ruhmkorff'schen Apparates zu geben im Stande ist, wird sich hüten, zu nahe an die Leitungsdrähte heranzukommen, aus Furcht vor dem ungeheuer starken Strom. Und in der That klingt das laute Geknatter der Blitze nicht gerade sehr einladend zu elektrophysiologischen Versuchen. Trotzdem unternahm es Dubois auf Grund unserer Befunde, einen solchen Strom durch seinen Körper durchzuschicken. Die secundäre Spule des benutzten Apparates, aus dem hiesigen physikalischen Kabinet stammend, hatte bei einem Draht von 0,2 Mm. eine enorme Spannung, aber auch einen Widerstand von 60000 Ohm. Da hier das Verhältniss von Windungszahl und Widerstand ein ähnliches war, wie an unserer feindrähtigen Spule, so konnte man annehmen, dass auch die *Selfinduction* im Verhältniss ebenso stark sei, wie bei dieser. Es war daher vorauszusehen, dass sie die Stromintensität ebenso sehr schwächen würde, wie ein Widerstand von 15 mal 60000 = 900000 Ohm und dass die Intensität keinen sehr grossen Werth erreichen würde, der hinter dem einer jeden primären Rolle zurückbleiben würde. Dies bestätigte sich vollauf. Der Strom erzeugte mit Einzelschlägen kräftige, aber durchaus erträgliche Muskelcontractionen, obgleich er in der Luft zwischen einer Metallspitze und einer Platte Funken von circa 30 Cm. Länge gab und obwohl der inducirende Strom circa 10 Volts Spannung hatte.

Durch diese Gegenprobe war die Richtigkeit der von Dubois gegebenen Theorie aufs Neue bewiesen und unsere Aufgabe gelöst. Trotzdem suchten wir noch nach weiteren Beweisen. Wir wollten direct die Grösse der Intensitäten bei verschiedenen Widerständen messen mit einem Instrument, wie man es für die galvanischen Ströme mit dem Galvanometer thut. Das Galvanometer war hierzu unbrauchbar; denn es giebt für Inductionsströme die Quantität an. Es konnte nur ein Elektrodynamometer in Frage kommen. Von diesen standen zwei zur Verfügung: eines von Weber, ein anderes von Giltay; doch war nur das letztere brauchbar, da ersteres auf so schwache Ströme, wie wir sie anwandten, nicht antwortete. Dem Giltay'schen Elektrodynamometer hingegen wurde eine sehr grosse Empfindlichkeit nachgerühmt und so schien es für unsere Versuche wie geschaffen.

Da dieses Instrument erst vor Kurzem construirt wurde und noch nicht genauer bekannt ist, so dürfte es von Interesse sein, einige physikalische Bemerkungen über seine Natur und Wirkungs-

weise vorauszuschicken, ehe wir unsere mit demselben erhaltenen Resultate mittheilen.[1])

Das Instrument besteht im Wesentlichen aus zwei Spulen aus 0,1 Mm. feinem Draht, zwischen welchen ein kleines Bündel Eisendrähte frei schwingt. Dasselbe ist mit einem Aluminium-Draht fest verbunden, der seinerseits mit Coconfäden leicht bifilär suspendirt ist. Das untere, ringförmig gebogene Ende des Aluminium-Drahtes taucht in einen Behälter mit Wasser, oder Glycerin, um die Schwingungen des Instrumentes zu dämpfen. Schickt man durch die Spulen einen Strom, so wird das Eisenbündel magnetisch und es nimmt zu den Spulen eine bestimmte Stellung ein. Wird der Strom unterbrochen, so sollte es sich wieder in seine Ruhelage stellen. Dies thut es aber nur sehr unvollkommen, da sein Einstellungsvermögen sehr gering ist. Das Einstellungsvermögen ist hauptsächlich durch zwei Momente gegeben: erstens durch den geringen remanenten Magnetismus im Eisenbündel, zweitens durch die leicht bifiläre Suspension. Da ersteres Moment vorwiegt, so sucht sich das Bündel gewöhnlich in den magnetischen Meridian zu stellen, und zwar thut es dies um so vollständiger, je stärker der remanente Magnetismus ist. Die Stärke desselben ist nicht constant, sondern wechselt ziemlich bedeutend. Besonders gross ist sie, wenn ein Strom lange in einer solchen Richtung durch die Spulen ging, dass der dadurch erregte Magnetismus im Eisenbündel sich zu dem schon vorhandenen addirt. Doch blieben auch in diesem Falle noch Einstellungsfehler vorhanden.

So vortheilhaft dieser remanente Magnetismus auch für die Einstellung des Eisenbündels ist, so bildet er doch wieder einen grossen Nachtheil für die Wirkungsweise des Instruments. Dasselbe nimmt infolge des Magnetismus in ziemlich hohem Grade die Eigenschaften eines Galvanometers an. Für galvanische und schwache Inductionsströme reagirt es fast rein galvanometrisch, indem es je nach der Richtung der Ströme nach verschiedenen Seiten ausschlägt. Für starke Inductionsströme dagegen geschehen die Ablenkungen stets nach der gleichen Seite, doch sind sie für ein und denselben Strom verschieden gross, je nachdem er in dem Eisenbündel einen Magnetismus erzeugt, der sich zu dem remanenten Magnetismus addirt, oder nicht. Folgende Tabelle zeigt diese Verhältnisse sehr deutlich.

Rollenabstand	Ablenkung			
			Stromwechsel	
	Schluss	Oeffnung	Schluss	Oeffnung
150 Mm.	Rechts 5	Links 5	Links 5	Rechts 1
140 =	= 7	= 9	= 6	= 1,5
130 =	= 6	= 16	= 9	= 0
120 =	= 10	= 30	= 14	Links 7
110 =	= 13	= 58	= 24	= 14
100 =	= 15	= 100	= 37	= 42
90 =	= 8	= 160	= 58	= 79
80 =	Links 1	über die Scala	= 79	= 119
70 =	= 7	—	= 102	= 145
60 =	= 23	—	= 135	= 202

1) Für mathematische Details verweisen wir auf die Dissertation von Dr. Hans Behr-Eschenburg aus Stralsund. Dissert. der Universität Zürich. 1889.

Für die beiden ersten Colonnen dieser Tabelle war die Stromrichtung eine solche, dass der vom Oeffnungsstrom erzeugte Magnetismus sich zu dem remanenten addirte, daher die starke Zunahme der Ablenkung. Für den Schliessungsstrom war der remanente Magnetismus entgegengesetzt. So lange der Strom schwach war, antwortete das Instrument, wie ein Galvanometer und schlug nach rechts aus. In dem Maasse, wie der Strom erstarkte, zwang er das Eisenbündel, nach links abzuweichen; doch war die Ablenkung um so viel kleiner, als von dem Strom verbraucht wurde, um den remanenten Magnetismus zu paralysiren. Gerade umgekehrt verhält es sich mit den beiden anderen Colonnen. Dort ist der Schliessungsstrom im Vortheil und der Oeffnungsstrom im Nachtheil. Die Ablenkung für letzteren beträgt daher bei dem Rollenabstand 120 nur 7 Theilstriche, während sie vor dem Stromwechsel schon 30 betrug.

Diese galvanometrischen Eigenschaften thaten der elektrodynamischen Wirkungsweise des Instruments grossen Eintrag, und so kam es, dass es die Unterschiede in der Intensität der Ströme lange nicht so gross angab, wie sie in Wirklichkeit waren und wie sie der Körper angab. Immerhin wirkte es genau genug, um für die Richtigkeit der Dubois'schen Theorie deutliche Beweise zu liefern.

In wie weit das Instrument auf Intensitäten antwortet, geht deutlich hervor aus den Angaben, die es über die Wirkung einer Duchenne'schen Röhre macht. Wie wir früher dargethan haben, lässt diese die Quantität eines Inductionsstromes unverändert, vermindert aber in erheblichem Maasse die Intensität desselben. In sehr schöner Weise ist diese Intensitätsverminderung in folgender Tabelle angegeben. Bei dem ihr zu Grunde liegenden Experimente wurde ein kleiner Trouvé'scher Apparat mit graduirter Duchenne'scher Röhre verwendet, der mit dem Elektrodynamometer verbunden wurde. Den Strom lieferte ein Element Daniell. Um die Ausschläge nicht zu gross zu bekommen, wurde das Elektrodynamometer shuntirt, so dass nur circa der 40. Theil des Stromes dasselbe passirte.

Röhre	Ablenkung
Röhre ganz entfernt	138 —100 Proc.
Röhre eingeschoben bis zum Theilstrich 1	122 — 88,4 =
= = = = = 2	111 — 80,4 =
= = = = = 3	105 — 76,0 =
= = = = = 4	96 — 69,5 =
= = = = = 5	92 — 66,6 =
= = = = = 6	88 — 63,7 =
= = = = = 7	84 — 60,8 =
= = = = = 8	81,5— 59,0 =
= = = = = 9	80 — 57,9 =
= = = = = 10	80 — 57,9 =
= = = = = 11	78 — 56,5 =
= ganz eingeschoben	76 — 55,0 =

In dieser Tabelle sieht man, wie die Intensität des Inductionsstroms der secundären Spule durch die Röhre um fast die Hälfte (55 Proc.) vermindert wird; doch dürfen wir annehmen, dass ohne die Ungenauigkeit

des Instruments die Differenz noch viel grösser wäre. Macht man den gleichen Versuch mit einem Galvanometer, statt einem Elektrodynamometer, so bekommt man stets eine gleich grosse Ablenkung, zum Beweis, dass die Quantität des Stromes von der Duchenne'schen Röhre nicht beeinflusst wird.

Nach diesem Vorversuch benutzten wir das Elektrodynamometer direct, um die Intensitäten der Ströme unserer beiden Spulen bei verschiedenen Widerständen zu messen. Wie die nachfolgenden Tabellen aufs Deutlichste beweisen, besitzt bei grossen Widerständen der Strom unserer feindrähtigen Spule die grössere Intensität, welche die der grobdrähtigen Spule weit hinter sich lässt. In dem Maasse, wie die Widerstände abnehmen, verkleinert sich jedoch die Differenz in den Intensitäten beider Spulen und bei ca. 1070 Ohm ist die Intensität der von beiden Spulen gelieferten Ströme gleichgross. Werden die Widerstände noch kleiner, so findet eine sehr rasche Zunahme der Intensität des Stromes der grobdrähtigen Spule statt, so dass sie nun ihrerseits die Intensität der feindrähtigen Spule bei Weitem übertrifft. Die Ablenkungen in den Tabellen wurden wie bisher mit Spiegelablesung bestimmt und es wurde, um dieselben in passender Grösse zu bekommen, das Elektrodynamometer je nach Bedarf shuntirt.

Tabelle I.

20000 Ohm Widerstand + Elektrodynamometer auf ½ shuntirt = $\frac{423}{2}$

Rollenabstand	Ablenkung	
	Feine Spule	Grobe Spule
130 Mm.	0,5	0
120 =	2,5	0
110 =	5,5	?
100 =	10	0,5
90 =	17	1,0
80 =	27	2
70 =	36	3
60 =	47	4
50 =	58	6
40 =	68	7,5
30 =	76	9,5
20 =	84	10
10 =	88	11
0 =	88	12

Tabelle II.

10000 Ohm + $\frac{423}{2}$

Rollenabstand	Ablenkung	
	Feine Spule	Grobe Spule
130 Mm.	2,5	0,5
120 =	7	0,5
110 =	14	1,5
100 =	26	5,5
90 =	42	5
80 =	63	8,5
70 =	85	12,5
60 =	110	17,5
50 =	136	25
40 =	160	29
30 =	182	36
20 =	205	40
10 =	—	45
0 =	—	47

Tabelle III.

5000 Ohm. Shunt 90.

Rollenabstand	Ablenkung	
	Feine Spule	Grobe Spule
130 Mm.	0,5	0
120 =	2	0
110 =	4	0
100 =	7	0,5
90 =	11	1,5
80 =	16	3
70 =	22	4,5
60 =	27	6,5
50 =	33	8,5
40 =	38,5	10
30 =	43	12
20 =	47,5	13,5
10 =	50	15
0 =	51	15,5

Tabelle IV.

1070 Ohm. Shunt 84.

Rollenabstand	Ablenkung	
	Feine Spule	Grobe Spule
150 Mm.	0	0
140 =	0,5	0,5
130 =	2	1
120 =	5	3
110 =	11,5	12
100 =	20,5	14
90 =	33	23
80 =	48	34
70 =	62	48
60 =	77	61
50 =	92	74
40 =	106	94
30 =	115	108
20 =	131	122
10 =	140	131
0 =	145	140

Tabelle V.

500 Ohm. 47 Shunt.

Rollenabstand	Ablenkung	
	Feine Spule	Grobe Spule
130 Mm.	1	1,5
120 =	2,5	5
110 =	6	10
00 =	10	17
90 =	16,5	26
80 =	24	39
70 =	31,5	52
60 =	39	66,5
50 =	47	80,5
40 =	53	96
30 =	59	109
20 =	63	120
10 =	66	130,5
0 =	67	136

Im Allgemeinen ist zu diesen Tabellen wenig zu bemerken. Auffallend dürfte es vielleicht sein, dass der Widerstand, bei dem die Ströme beider Spulen ungefähr gleiche Intensität zeigen (siehe Tab. IV), nur 1070 Ohm beträgt. Aber wir müssen bedenken, dass unser Instrument kein reines Elektrodynamometer ist, sondern sich aus einem Galvanometer und einem Elektrodynamometer zusammensetzt. Je mehr die Eigenschaften des Galvanometers in den Vorder-

grund treten, desto mehr reagirt es auf die Quantität der Ströme und desto mehr muss sich die Zahl, wo es die Intensitäten gleich angiebt, jener nähern, für welche die Quantitäten gleich sind, d. h. um so kleiner muss sie sein. Sowohl bei praktischen Versuchen am Körper, als mit Hülfe der Formeln $I = \frac{10050}{w + 15700}$ und $I = \frac{2218}{w + 810}$ lässt sich der Widerstand, bei dem die Intensität für beide Spulen gleich ist, ohne Mühe auf circa 3000 Ohm bestimmen. Immerhin beweisen die Tabellen, wenn sie auch keine absoluten Maasse für die Intensitäten enthalten, dass die Intensitäten der Ströme nicht den Quantitäten direct proportional sind und dass die Ströme beider Spulen viel früher gleiche Intensitäten haben (für die physiologische Wirkung das Maassgebende), als gleiche Quantität.

Kein physikalisches Instrument vermag die Steilheit der Entladungscurve so genau anzugeben, wie der motorische Nerv. Die geringste Abflachung der Curve bedingt eine auffallende Abnahme der physiologischen Wirkung. Interessant ist die Vergleichung der 3 auf die Inductionsströme reagirenden Vorrichtungen, nämlich 1. Galvanometer, 2. Elektrodynamometer von Giltay, 3. motorischer Nerv.

Für das Galvanometer zeigen sowohl Berechnung wie der Versuch, dass die 2 untersuchten Spulen erst bei einem äusseren Widerstand von 268 Ohm gleiche Quantität haben.

Am Giltay'schen Elektrodynamometer geben beide Spulen den gleichen Ausschlag bei 1070 Ohm äusserem Widerstand.

Bei einem solchen Widerstand von circa 1000 Ohm reagirt aber der motorische Nerv immer noch erheblich stärker auf den Strom der grobdrähtigen Spule und erst bei einem äusseren Widerstand von circa 3000 Ohm ist die physiologische Wirkung für die fein- und grobdrähtige Spule die gleiche.

Hiermit sind wir am Ende der uns gestellten Aufgabe. Die Hauptergebnisse resumiren wir in folgenden Conclusionen:

1. Eine windungsreiche, feindrähtige Spule ist vermöge ihrer hohen Spannung mit Vortheil anzuwenden bei grossen Leitungswiderständen, wie sie besonders vorkommen bei der Reizung der Hautsensibilität mit trockenen, kleinen Elektroden.

2. Eine Spule aus grobem Draht mit weniger Windungen (wohin auch jede primäre Spule zu rechnen ist) entfaltet in allen Fällen eine bessere Wirkung, wo die Widerstände keine grossen sind, wie dies bei der Anwendung feuchter Elektroden zur Reizung motorischer Nerven und Muskeln der Fall ist.

3. Diese paradoxe Thatsache findet ihre einzige Erklärung in der Annahme der *Selfinduction*. Jeder Strom, auch der uns allein interessirende Oeffnungsinductionsstrom, erzeugt in der eigenen Spule einen Gegenstrom. Dieser Strom hindert den Anstieg des Hauptstroms, vermindert die Steilheit seiner Curve und schwächt somit die physiologische Wirkung.

4. Durch diese Gegenströme wird die elektromotorische Kraft der Spulen erheblich reducirt. So zeigt die obige Berechnung, dass die elektromotorische Kraft unserer feinen Spule auf 22 Proc. des ursprünglichen Werthes sank, während die grobdrähtige nur auf 78 Proc. reducirt wurde. Somit haben beide Spulen trotz sehr verschiedener Windungszahl keine sehr verschiedene elektromotorische Kraft, und da die grobdrähtige viel kleineren Widerstand hat, so ist sie bei nicht zu erheblichen Widerständen im Vortheil.

5. Schon bei starrem Widerstand von 3000 Ohm zeigt sich unsere grobe Spule im Vortheil. Weit grösser muss ihre Ueberlegenheit sein, wenn der Körper eingeschaltet ist. — Wie Gärtner in Wien nachgewiesen hat, ist der Widerstand des Körpers kleiner für Ströme von steilerem Verlauf.

6. Die Versuche zeigen, dass Solenoïde (also auch Spulen eines Galvanometers!) in einem Stromkreise die physiologische Wirkung ganz erheblich beeinflussen können.

7. Bei künftigen Untersuchungen über die Wirkung der Ströme und Entladungen muss diese bisher vernachlässigte Frage der *Selfinduction* genaue Berücksichtigung finden.

Im Anschluss an vorliegende Abhandlung ergreife ich mit Freude die Gelegenheit, dem Herrn Dr. Dubois, der mir nicht nur die Anregung zu dieser Arbeit gab, sondern mir auch jederzeit bei der Ausführung derselben hülfreich zur Seite stand, meinen wärmsten Dank auszusprechen.

Bern, Mai 1890.